

DOI 10.20535/2411-1031.2024.12.2.315766

УДК 621.396

СЕРГІЙ САЛЬНИК

## МОДЕЛЬ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ МОБІЛЬНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ

В статті запропоновано модель ієрархічної системи управління потоками даних мобільної радіомережі, на основі взаємодії інтелектуальних агентів та з використанням нейронного виводу. Суть розробки даної моделі полягає в описі системи управління потоками даних у вигляді ієрархічного розподілу процесу отримання та обробки вхідних даних в системі управління потоками даних. Зазначена модель використовує мультиагентну систему для представлення знань про зовнішнє середовище системи в вигляді математичної моделі агента з різними можливими станами. Далі відбувається представлення мультиагентної системи у вигляді графу, застосовуючи теорію графів для опису системи управління потоками даних та процесів їх взаємодії. Потім відбувається формування нейронного виводу з нечіткими множинами, в результаті чого всі отримані нечіткі вхідні дані, буде приведено до чіткого зовнішнього вигляду. На наступному кроці відбувається використання нейро-нечіткої мережі. На останньому кроці відбувається розробка імітаційної моделі з застосуванням інструменту її реалізації. Це дозволить моделювати систему керування і комутації, цифрову обробку даних, з урахуванням поведінки, яка викликана різними сторонніми факторами з урахуванням особливостей використання моделі в мобільних радіомережах. В цілому сутність створення інтелектуальної системи управління з використанням ієрархічної системи підтримки прийняття рішень полягає у можливості взаємодії між собою елементів різного типу мереж з використанням систем прийняття рішень, шляхом обміну інформацією при прийнятті управлінських рішень. Розроблена модель дозволить систематизувати процес проектування системи управління потоками даних в мобільних радіомережах, ієрархічно розподілити процес отримання та обробки вхідних даних, зменшити час обробки даних та завантаження ресурсів вузлів та мереж, що використовуються, за допомогою мультиагентних систем, нейронного виводу та моделювання.

**Ключові слова:** ієрархічне управління, мобільна радіомережа, нейронні мережі, потоки даних, система управління.

**Постановка проблеми.** Досвід розвитку, застосування та поширення мобільних радіомереж (МР), а також процес побудови систем управління (СУ) в таких мережах вказує на те, що таким системам управління характерна робота з урахуванням самоорганізації, відсутності мережевої інфраструктури та централізованого управління. В наслідок чого СУ доводиться працювати з засобами мобільного зв'язку які обмінюються даними безпосередньо між собою.

Однак на процес передачі даних також впливають особливості, які характерні саме мобільним радіомережам, а саме: наявність високої динаміки топології; велика розмірність радіомереж; наявність низької пропускної здатності радіоканалів; застосування вузлів у якості маршрутизаторів, комутаторів та кінцевих мережевих пристроїв; обмеженість вузлових та мережевих ресурсів; можливість отримання нечітких, непередбачуваних, неповних даних, тощо. В результаті чого основним завданням в ході застосування системи управління в МР є забезпечення ефективного процесу управління потоками даних в вузлових та мережевих ресурсах МР.

Враховуючи вказані особливості які характерні саме мобільним радіомережам, існуючі системи управління що застосовуються в МР повинні мати можливість проводити обрахування множини різнорідних вхідних параметрів даних (які можуть відноситися до різних рівнів моделі OSI) та які в свою чергу збираються цією СУ з окремих елементів МР. Проведений аналіз функціонування існуючих СУ з урахуванням розвитку інформаційних технологій, технологій прийняття рішень та необхідності урахування множини різнорідних типів вхідних даних, вказує на доцільність застосування ієрархічної СУ, яка використовує для обрахування даних інтелектуалізацію системи [1].

**Мета** статті полягає в розробці моделі ієрархічної системи управління потоками даних мобільної радіомережі на основі застосування інтелектуалізації та систематизації процесу проектування системи управління потоками даних в мобільних радіомережах, розподілу процесу отримання та обробки вхідних даних, зменшення часу обробки даних та завантаженості ресурсів мобільної радіомережі.

**Об'єктом** дослідження є процес забезпечення якісного функціонування системи управління мобільної радіомережі.

**Предметом** дослідження є модель ієрархічної системи управління потоками даних мобільної радіомережі.

**Аналіз останніх досліджень.** При побудові СУ в МР з наявною підсистемою оцінювання стану функціонування яка буде характеризуватися покращенням ефективності, доцільним буде врахування множини вразливостей МР, які здатні порушувати функціонування СУ, а саме: обмеженість, як ресурсів елементів мереж, так і фізичної безпеки радіоканалів; наявність, як динамічної топології елементів мережі, так і колективної роботи елементів мережі; можливість компрометації засобів зв'язку, тощо.

Виходячи із зазначеного логічним є те, що будь яке порушення функціонування СУ може призвести до порушень основних функцій як в процесі організації маршрутизації, передачі даних, так і в організації СУ в цілому [1], [2].

Таким чином СУ яка розробляється може бути представлена у вигляді багаторівневої ієрархічної структури, яка буде представлена у вигляді відповідних етапів характерних множині цільових функцій на рівнях моделі OSI.

До основних особливостей даної технології належить те, що агент розглядається як програмна та апаратна система, яка здатна приймати управлінські рішення в непередбачуваних та невизначених умовах. Тобто інтелектуальні агенти та агенти в мультиагентній системі можуть адаптуватися до змін середовища в якому вони перебувають та з яким вони взаємодіють [3].

Створення інтелектуальної системи управління з використанням ієрархічної системи підтримки прийняття рішень полягає у можливості взаємодії між собою елементів різного типу мереж з використанням систем прийняття рішень, шляхом обміну інформації при прийнятті управлінських рішень.

З метою вибору структури побудови моделі системи управління потоками даних з використанням інтелектуалізації процесів, доцільно розглянути множину сучасних інтелектуальних систем, які класифікуються за наступними ознаками [4].

1. *За ступенем інтелектуалізації*, системи, які:
  - здійснюють перебирання варіантів рішень згідно пріоритетності;
  - приймають рішення за множиною вирішальних правил;
  - реалізують розпізнавання даних за еталонами;
  - утворюють та застосовують базу знань або базу даних;
  - застосовують експертні знання.
2. *За здатністю самонавчатися*, системи, які:
  - розв'язують завдання розпізнавання образів;
  - застосовують факторний аналіз;
  - застосовують класифікацію;

- діагностують та поновлюють свій стан у разі виникнення відмов;
  - здійснюють самоорганізацію процесів;
  - гібридними або сенсорними.
3. *Знання-орієнтовані*, системи, які застосовують:
    - автоматичне доведення тверджень;
    - автоматичну побудову припущень;
    - обґрунтування за аналогією;
    - об'єктно-орієнтовані або об'єктно-логічні інтелектуальні системи.
  4. *За принципом функціонування*, які застосовують:
    - обробку даних або знань;
    - гібридну структуру побудови.
  5. *За інтелектуалізацією виконуваних завдань*:
    - інформаційно-довідкові;
    - які застосовують інтелектуальний банк знань.
  6. *За наявністю інформаційної обґрунтованості*, які застосовують:
    - методики і алгоритми;
    - продукційні знання та правила;
    - декларовані знання.
  7. *За використанням експертно-аналітичних систем*, які застосовують:
    - оцінювання ситуацій;
    - вибір рішень;
    - діагностування ситуацій.
  8. *За ступенем інтелектуальності функцій*, які застосовують:
    - інформування;
    - попередження;
    - рекомендації;
    - приписи;
    - приймання рішень;
    - виконання рішень;
    - контролювання.
  9. *За кількістю функцій*, які виконуються:
    - одну;
    - багато функцій.

З урахуванням нечіткості, неповноти та непередбачуваності отриманих вхідних даних, динамічної топології побудови мережі доцільно застосовувати гібридну побудову системи управління потоками даних на основі застосування різних підходів та технологій таких як нейронних мереж.

Застосування алгоритму нейронних мереж в СУ базується на нечітких множинах, що в свою чергу дозволяє здійснювати математичну формалізацію логіко-лінгвістичної інформації, що може бути використане при описі складних нелінійних об'єктів. Як правило, моделювання таких складних нелінійних об'єктів зводиться до побудови множини нечітких значень, які являють собою експертні знання про об'єкт дослідження у вигляді лінгвістичних висловлювань ЯКЦО-ТО [5].

Побудована в такий спосіб СУ з використанням нейронних мереж здатна працювати як в автоматичному так і в напівавтоматичному режимах, тому дана СУ буде спроможна приймати управлінські рішення без втручання людини на вузлових і на мережевих ресурсах управління. Отже, СУ яка розробляється має бути в складі вузлової або мережевої структури МР, та здатна приймати управлінські рішення за ієрархічним принципом передачі даних, для забезпечення необхідної якості передачі інформації. Можливість передачі, отримання, обробки, аналізу вхідних даних в СУ залежить від завдань, які повинні вирішуватися з

урахуванням рівнів мережевої моделі OSI. Важливим є те, що кожна СУ в ході роботи повинна враховувати не тільки власні цільові функції, а також і цільові функції сусідніх елементів мережі та вузлів. Тому з урахуванням вузлових та мережевих цільових функцій, для отримання зазначеного функціоналу в СУ пропонується розробка моделі ієрархічного управління з використанням мультиагентної системи та нейронних мереж (НМ) [4].

#### Виклад основного матеріалу дослідження

**Необхідно:** розробити модель ієрархічного управління потоками даних системи управління мобільної радіомережі, яка ґрунтується на застосуванні мультиагентної системи, нейронного та нечіткого виводу.

**Суть** розробки моделі полягає в описі системи управління потоками даних у вигляді ієрархічного розподілу процесу отримання та обробки вхідних даних в системі управління потоками даних.

Зазвичай модель являє собою уявне представлення певного об'єкту чи системи в деякому вигляді, який може мати відмінну та не цілісну форму від первинного об'єкту, але в основі цих форм будуть знаходитися взаємопов'язані елементи які працюють на основі існуючих апаратів, алгоритмів, способів, подій, підходів, обставин тощо. Розробка структури моделі характеризується відсутністю якогось вигляду для вирішення різних завдань, тобто індивідуальністю кожної нової моделі, виходячи із мети розробки, вирішуваних завдань, середовища використання, початкових даних, тощо. Однак до етапів побудови моделі можуть входити: постановка завдання, побудова структурних елементів моделі, реалізація структурних елементів моделі, перевірка на адекватність моделі, застосування моделі, оновлення моделі [3].

*Нова модель ієрархічної системи управління потоками даних.* Алгоритм функціонування моделі ієрархічної системи управління потоками даних зазначено на рис.1.



Рисунок 1 – Алгоритм функціонування моделі ієрархічної системи управління потоками даних

**I. Постановка завдання.** Етап побудови моделі, який може забезпечити правильне вирішення завдання. До цього етапу входить: проведення аналізу предметної області, вибір застосовуваного математичного чи програмного апарату в розробці елементів моделі, визначення початкових даних, визначення обмежень та припущень.

*Визначимо початкові данні розробляємої моделі:* розглядається процес функціонування мережі в режимі реального часу, в результаті чого є множина вхідних параметрів даних –  $x_n$ . В складі мережевої та вузлової структури знаходиться відповідна СУ, що будується мультиагентною системою та апаратом НМ. Припускається робота СУ з можливістю отримання вхідних даних на різних рівнях моделі OSI,  $B_q = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ .

**II. Побудова структурних елементів моделі,** включатиме в себе визначення структури моделі, реалізацію функціональних елементів моделі у відповідності з метою розробки та етапами розробки моделі ієрархічної системи управління потоками даних.

Опис управління ієрархічної структури СУ потоками даних може бути представлений у вигляді вертикальних зв'язків, якій буде складатися з наступних етапів:

1. Застосування мультиагентної системи. Мультиагентні системи відносяться до систем, які здатні до самоорганізації, так як в цих системах відбувається оптимальне розв'язання задач без зовнішнього втручання. Дана система утворена за допомогою декількох взаємодіючих інтелектуальних агентів. До основних властивостей інтелектуальних агентів належить: автономність, адаптивність, активність, здатність до міркувань, мобільність, комунікативність, наявність знань, наявність мети, реактивність, тощо. Мультиагентна система може бути використана для вирішення завдань, які досить складно вирішити з використанням одного агента або декількох агентів.

Комунікація між агентами в мультиагентній системі забезпечується завдяки протоколу обміну інформацією з використанням брокеру повідомлень. Для організації взаємодії між агентами мережі, кожен агент повинен мати з'єднання з сервером брокеру повідомлень. Взаємодія між агентами мультиагентної системи починається з встановлення зв'язку між агентами мультиагентної системи з використанням відповідних протоколів.

Для забезпечення коректної роботи мультиагентної системи, кожен агент має декілька потоків даних. В мультиагентній системі модель представлення знань про зовнішнє середовище системи можливо представити в вигляді математичної моделі агента з різними можливими станами [4].

До взаємодії агентів мультиагентної системи та потоків даних відносять:

– *потік Admin*, де відправниками даних є агенти контролю доступом, а користувачами даних є агенти окремого потоку даних, основним значенням потоку даних є потік введення даних до агентів контролю доступу;

– *потік AdminOut*, де відправниками даних є адміністративні агенти окремого потоку даних, а користувачами даних є окремі агенти контролю доступом, основним значенням потоку даних є потік виводу даних з агентів контролю доступу;

– *потік DoorIn*, де відправниками даних є агенти адміністративного контролю, а користувачами потоку даних є окремі агенти контролю доступом для власного потоку даних, основним значенням потоку даних є потік вводу даних до агентів контролю доступу;

– *потік DoorOut*, де відправниками даних є агенти контролю доступу для власного потоку даних, а користувачами потоків даних є адміністративні агенти, основним значенням потоку даних є потік виводу даних з агентів контролю доступу.

Агенти можуть бути задані наступними параметрами:

$$AG = (S, A, env, I, refineaction),$$

де  $S$  – певна множина станів зовнішнього середовища;

$A$  – певна кінцева множина дій агентів;

$env : S \times A \rightarrow 2^S$  – функція поведінки в зовнішньому середовищі;

$I$  – певна кінцева множина внутрішніх станів агента;

$refine : I(j-1) \times S(j) \rightarrow I(j)$  функція відновлення станів середовища, яка співставляє попередньому внутрішньому стану середовища агента  $I(j-1)$  і новому зовнішньому стану середовища  $S(j)$  новий внутрішній стан агента  $I(j)$ ;

$j$  – визначається як стан;

$action : I \rightarrow A$  являє собою функцію прийняття управлінського рішення, що співставляє певного агента поточному внутрішньому стану середовища.

Зазначена модель інтелектуального агента мультиагентної системи відображає опис агента в вигляді моделі кінцевого автомата з наявною вхідною або вихідною множиною  $S/A$  та множиною станів  $I$ .

2. Представлення мультиагентної системи у вигляді графу. Головний вузол системи розташований у корені дерева підсистеми  $(I_2, U_2)$ , ці підсистеми являють собою ребра, які відходять від кореня дерева  $(I_1, U_1), \dots, (I_{1q}, U_{1q}), \dots, (I_{1Q}, \dots, U_{1Q})$ , що представляє собою  $Q$  агента системи управління. Кожна з підсистем системи управління мережі містить власний контрольний блок  $I$  та блок управління  $U$ . Функціональні підсистеми взаємодіють в межах різних шарів.

Кожна підсистема першого шару  $P_{qr}, q = \overline{1, Q}, r = \overline{1, R}$ , підключена до функціональних підсистем другого шару  $(I_{1q}, U_{1q}), q = \overline{1, Q}$ , які знаходяться на відстані двох ребер від кореня.

Для  $q$ -ї підсистеми системи управління другого шару  $(I_{1q}, U_{1q}), q = \overline{1, Q}$  визначимо як:

$X_{1qr}(k)$  – кількість векторів стану  $q$ -ї підсистеми системи управління,

$$X_{1qr}(k) = \{x_{1qr}^a(k)\}, a = \overline{1, a_{1qr}},$$

де  $a_{1qr} \times 1$ ;

$\tilde{X}_{1qr}(k)$  – являє собою кількість узагальнених оцінок станів векторів  $q$ -ї підсистеми другого шару, де  $\tilde{X}_{1qr}(k) = \{\tilde{x}_{1qr}^a(k)\}, a = \overline{1, a_{1qr}}, a_{1q} \times 1$ ;

$U_{1qr}(k)$  – керування векторами  $q$ -ї підсистеми системи управління другого шару, які направлені від першого шару,  $U_{1qr}(k) = \{u_{1qr}^b(k)\}, b = \overline{1, b_{1qr}}, b_{1q} \times 1$ ;

$Y_{1qr}(k)$  – управління векторами  $q$ -ї підсистеми системи управління другого шару, призначені для верхнього шару підсистеми системи управління, де  $Y_{1q}(k) = \{y_{1q}^d(k)\}, d = \overline{1, d_{1q}}, d_{1q} \times 1$ ;

$Z_{1q}(k)$  – кілька векторів  $q$ -ї підсистеми системи управління другого шару, призначені для верхнього шару підсистеми СУ,  $Z_{1q}(k) = \{z_{1q}^d(k)\}, d = \overline{1, d_{1q}}, d_{1q} \times 1$ .

Третій шар управління підсистеми системи управління  $(I_2, U_2)$ , визначимо як:

$\tilde{X}_2(k)$  – кількість оцінок стану векторів другого шару підсистеми СУ, де  $\tilde{X}_2(k) = \{\tilde{x}_2^l(k)\}, l = \overline{1, l_r}, l_r \times 1$ ;

$Y_{2q}(k)$  – керування векторами контрольних змінних, що можуть передаватися на нижній шар підсистеми СУ,  $Y_{2q}(k) = \{y_{2q}^d(k)\}, d = \overline{1, d_{2q}}, d_{2q} \times 1$ ;

$Z_{2q}(k)$  – вектори керування змінними, які можуть надсилатися в підсистему СУ нижнього рівня,  $Z_{2q}(k) = \{z_{2q}^d(k)\}$ ,  $d = \overline{1, d_{2q}}$ ,  $d_{2q} \times 1$ .

3. Формування нейронного виводу з нечіткими множинами. Так як нечіткі множини можливо описати функціями належності, а  $t$ -норми та  $k$ -норми математичними операціями, тому можливо допустити наявність нечітких логічних міркувань у вигляді нейронної мережі. Виходячи із зазначеного функції належності треба представляти як функції які активують нейрони, в свою чергу до спеціальних видів нейронів які виконують математичні операції буде належати  $t$ -норма та  $k$ -норма.

Підходячи до формування нейронного виводу, треба врахувати існування на сьогодні множини різних за своїм функціоналом нейронних та нейро-нечітких мереж, наприклад: вейвлети, персептрони, радіально базисні мережі, сплайни, та інші, які можуть бути описані у вигляді апроксиматорів. В наслідок чого приходимо до висновку про доцільність застосування нейро-нечіткої мережі. В подібних мережах блок виводу з нечіткими множинами матиме нечіткий логічний вивід, який отримує множину вхідних параметрів даних, які можливо віднести до неточних. Блок виводу з нечіткими множинами працюватиме на етапі отримання вхідних параметрів даних для введення в підсистему системи управління та на етапі отримання даних від агентів. В результаті всі отримані нечіткі вхідні дані, буде приведено до чіткого зовнішнього вигляду [4].

4. Використання нейро-нечіткої мережі, тобто застосування етапів / блоків:

1) *Блок фазифікації* перетворює чіткі вихідні дані у нечіткі, які описані лінгвістичними змінними в базі знань. Процес фазифікації здійснюється встановленням відповідності між отриманням значення вхідної змінної системи нечіткого виводу (СНВ) та значенням функції належності характерній термі вхідної лінгвістичної змінної.

Встановлення відповідності між значеннями вхідної змінної у СНВ і значенням  $S_n^{mk}$ , що відповідає ступеню істинності у відповідних правилах терм на основі значень функції належності вхідних лінгвістичних змінних:  $S_n^{mk} = \mu_n^m(x_n)$ ,

де  $(\bar{x}_n)$  – вектор значень вхідних змінних СНВ;  $\mu_n^m(x_n)$  – функція належності  $m$  – терм.

2) *Блок рішень* застосовує нечіткі продукційні правила, які знаходяться в базі знань, з метою перетворення нечітких вхідних даних у множину керуючих впливів, які характеризуються нечіткістю.

3) *Блок агрегування* здійснює визначення ступенів істинності умов у відповідності до правил нечіткого висновку. Ступінь істинності умови  $S_n^{mk}$ ,  $h = \overline{1, H}$  для кожного із правил нечіткого виводу на основі значень передумов істини  $S_n^{mk}$ .

4) *Блок активації* здійснює знаходження ступенів істинності висновків нечітких правил. Він передбачає встановлення значень функції від часу перевірки лінгвістичних змінних:

$$\mu^{hk}(\bar{w}_g) = \min_h \{z_g^h, \mu_g^h(\bar{w}_g)\},$$

де  $\mu^{hk}(\bar{w}_g)$  – функція належності  $h$ -ї терми вихідної змінної  $\bar{w}_g$ ;  $z_g^h$  – ступінь істинності кожного з висновків.

5) *Блок акумулювання*, здійснює об'єднання або акумулювання множини ступенів істинності висновків з метою отримання функції належності вихідних змінних. Також відбувається об'єднання операцій з використанням  $\max$ -диз'юнкції ступенів істинності для функцій належності вихідних змінних:

$$\mu_g^*(\bar{w}_g) = \bigcup_{k=1}^{k_M} \bigcup_{h=1}^H \mu_g^h(\bar{w}_g).$$

б) *Блок дефазифікації*, здійснює перетворення нечітких даних з блоку рішень у чіткі значення які застосовуються для керування об'єктом. Для отримання точних значень множини вихідних змінних на основі акумулювання вихідних лінгвістичних змінних, які можуть бути використані під час роботи:

$$w_g = \frac{\sum_{h=1}^H z_g^h \cdot d_g^h}{\sum_{h=1}^H z_g^h},$$

де  $H$  – кількість нечітких продукцій правил, результати якого співвідносяться з вихідною лінгвістичною змінною  $d_g^h$  [5].

**III. Реалізація структурних елементів моделі**, буде відбуватися на основі розробки імітаційної моделі. Для розробки імітаційної моделі доцільно застосувати Matlab. Matlab в свою чергу, являє собою пакет прикладних програм для проведення числового аналізу, де інструментом реалізації є Simulink з пакетом Stateflow. Цей пакет призначений для моделювання систем керування і комутації, цифрової обробки, з урахуванням поведінки, яка викликана різними сторонніми факторами. Simulink, являє собою інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем. До цих систем належать дискретні, неперервні, гібридні, нелінійні, розривні, та інші системи. Цей інструмент для моделювання також дає можливість аналізувати та моніторити стан моделі, будувати багаторівневі моделі та графічні блочні діаграми, візуалізувати вихідні сигнали, досліджувати та оцінювати працездатність систем, імітувати динамічні системи, моделювати нестационарні системи, тощо [6].

Виходячи із того що СУ потоками даних в мобільній радіомережі повинна мати здібності розпізнавання даних, аналізувати ситуації в радіомережі, приймати управлінські рішення, інтерактивний інструмент для моделювання з відповідною програмною реалізацією в повній мірі задовольнятиме вимогам щодо побудови моделі, набуття моделлю відповідних якостей для вирішення поставлених завдань.

**IV. Перевірка на адекватність моделі**, представляє собою перевірку ступеня відповідності моделі об'єкту моделювання. Чим краще розроблена модель буде здатна відображати реальний об'єкт або виконувати його функціональне призначення, тим вище здатність розробленої моделі в прийнятті оптимальних управлінських рішень. На рівень функціонування моделі можуть вплинути похибки в наслідок недостовірних вихідних припущень, інформаційних обмежень, зміни цільових функції, тощо. До способів перевірки моделі на адекватність відносять: порівняння тестових результатів моделювання з результатами реальної системи; перевірка набору параметрів моделі з відомими раніше результатами; перевірка рівня відображення в моделі основних елементів та процесів; перевірка достовірності початкових даних; перевірка кінцевих функціональних співвідношень моделі з прийнятими на початку моделювання припущеннями та умовами [3].

**V. Застосування моделі.** Після проведення перевірки на адекватність, розроблена модель буде готова до стабільного використання.

**VI. Оновлення моделі.** В ході використання моделі може виникнути питання зміни мети дослідження, умов її використання, вихідних або додаткових даних, тощо. В наслідок чого розроблена модель експертним шляхом потребуватиме оновлення [3].

**Висновки.** В статті запропоновано модель ієрархічної СУ потоками даних МР, на основі взаємодії інтелектуальних агентів та з використанням нейронного виводу. Зазначена модель використовує мультиагентну систему, представлену у вигляді графу, формування нейронного виводу з нечіткими множинами, використання нейро-нечіткої мережі та розробку імітаційної моделі. Розроблена модель дозволить систематизувати процес проектування СУ потоками



даних і МР, ієрархічно розподілити процес отримання та обробки вхідних даних, зменшити час обробки даних та завантаження ресурсів вузла та мережі, що використовуються, за допомогою мультиагентних систем, нейронного виводу та моделювання. В цілому мета статті, яка полягала в розробці моделі ієрархічної СУ потоками даних МР на основі застосування інтелектуалізації систем для систематизації процесу проектування системи управління потоками даних в МР, розподілу процесу отримання та обробки вхідних даних, зменшення часу обробки даних та завантаженості ресурсів мобільної радіомережі, досягнута повністю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ю.П. Зайченко, *Основи проектування інтелектуальних систем: Навч. посіб.* Київ, Україна: Видавничий дім «Слово», 2004.
- [2] В.В. Сальник, С.В. Сальник, К.В. Лукіна, та В.П. Олексенко, “Аналіз методів підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління зв’язком військового призначення”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 2, с. 114-119, 2017.
- [3] С.В. Цюцюра, О.В. Криворучко, та М.І. Цюцюра, “Теоретичні основи та сутність управлінських рішень. моделі прийняття управлінських рішень”, *Збір. наук. праць КНУБА “Управління розвитком складних систем”*, № 9, с. 50-58, 2012. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/8710>. Дата звернення: Жов. 17, 2024.
- [4] В.М. Павленко, та В.П. Кужель, “Визначення можливості використання мультиагентного підходу при виконанні технічного обслуговування і ремонту автомобіля”, *Вісник машинобудування та транспорту*, №1 (7), с. 72-80, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/25210/document%20%2846%29.Pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Дата звернення: Вер. 11, 2024.
- [5] A. Divitskyi, S. Salnyk, V. Hol, and A. Storchak, “Method of identification of data routes in wireless self-organized networks”, *Information Technology and Security*, vol. 9(1), pp. 111-123. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2021.9.1.249839>.
- [6] О.П. Мусієнко, І.М. Тупиця, М.В. Пархоменко, В.Д. Коломієць, та Б.І. Бойко, “Розробка імітаційної моделі оцінки методу захисту каналів командно-телеметричної інформації від інформаційної протидії противника”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 4(64), с. 101-106, 2020. doi: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.64.13>.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2024.

### REFERENCE

- [1] Y.P. Zaichenko, *Fundamentals of designing intelligent systems: Teaching. Manual.* Kyiv, Ukraine: “Slovo” Publ. House, 2004.
- [2] V.V. Salnyk, S.V. Salnyk, K.V. Lukina, and V.P. Oleksenko, “Analysis of decision support methods in automated military communication control systems, *Weapon systems and military equipment*, no. 2. pp. 114-119. 2017.
- [3] S.V. Tyutsyura, O.V. Kryvoruchko, and M.I. Tyutsyura, “Theoretical foundations and essence of management decisions. management decision-making models”, *Management of the development of complex systems*, no. 9, pp. 50-58, 2012. [Online]. Available: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/8710>. Accessed on: Oct. 17, 2024.
- [4] V.M. Pavlenko, and V.P. Kuzhel, “Determining the possibility of using a multi-agent approach when performing maintenance and repair of a car”, *Herald of Machine Building and Transport*, no. 1 (7), pp. 72-80, 2018. [Online]. Available: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/>

123456789/25210/document%20%2846%29.Pdf?sequence=1&isAllowed=y. Accessed on: Sep. 11, 2024.

- [5] A. Divitskyi, S. Salnyk, V. Hol, and A. Storchak, "Method of identification of data routes in wireless self-organized networks", *Information Technology and Security*, vol. 9(1), pp. 111-123. doi: <https://doi.org/10.20535/2411-1031.2021.9.1.249839>.
- [6] O.P. Musienko, I.M. Tupytsia, M.V. Parkhomenko, V.D. Kolomiets, and B.I. Boyko, "Development of a simulation model for evaluating the method of protection of command and telemetry information channels against information countermeasures of the enemy", *Armament systems and military equipment*, no. 4(64), pp. 101-106, 2020. doi: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.64.13>.

SERHII SALNYK

### MODEL OF HIERARCHICAL MOBILE RADIO NETWORK DATA FLOW MANAGEMENT SYSTEM

The article proposes a model of a hierarchical system of managing data flows of a mobile radio network, based on the interaction of intelligent agents and using neural inference. The essence of the development of this model is to describe the data flow management system in the form of a hierarchical distribution of the process of receiving and processing input data in the data flow management system. This model uses a multi-agent system to represent knowledge about the external environment of the system in the form of a mathematical model of an agent with different possible states. Next, the multi-agent system is presented in the form of a graph, using graph theory to describe the data flow management system and their interaction processes. Then the formation of a neural output with fuzzy sets occurs, as a result of which all received fuzzy input data will be reduced to a clear appearance. The next step involves the use of a neural network. At the last step, a simulation model is developed using a tool for its implementation. This will make it possible to simulate the control and switching system, digital data processing, taking into account the behavior caused by various external factors, taking into account the peculiarities of the use of the model in mobile radio networks. In general, the essence of creating an intelligent management system using a hierarchical decision-making support system is the possibility of interaction between elements of different types of networks using decision-making systems, by exchanging information when making management decisions. The developed model will make it possible to systematize the design process of the data flow management system in mobile radio networks, hierarchically distribute the process of receiving and processing input data, reduce the time of data processing and loading of the node and network resources used, using multi-agent systems, neural inference and modeling.

**Keywords:** hierarchical control, mobile radio network, neural networks, data flows, control system.

**Сальник Сергій Васильович**, кандидат технічних наук, заступник начальника Науково-дослідного центру, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна. ORSID 0000-0003-4463-5705, s.sergey@i.ua.

**Salnyk Serhii**, candidate of technical sciences, deputy head of the Scientific Research Center, Institute of special communications and information protection of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.